

Funktionalität der getesteten flussbaulichen Maßnahmen im Pilotprojekt Bad Deutsch-Altenburg

Marcel Liedermann · Philipp Gmeiner · Martin Glas · Michael Tritthart · Helmut Habersack

Online publiziert: 24. März 2016

© Die Autor(en) 2016. Dieser Artikel ist auf Springerlink.com mit Open Access verfügbar.

Zusammenfassung Die im Rahmen des Pilotprojektes Bad Deutsch-Altenburg an der Donau umgesetzten Maßnahmen wurden schon während der Baumaßnahmen durch ein umfangreiches Monitoring bezüglich ihrer Funktionalität beleuchtet. So wurden speziell durch Sohlgrundaufnahmen, Freeze-Core-Proben und Steintracer Erkenntnisse über die Wirksamkeit der Maßnahme „granulometrische Sohlverbesserung“ (GSV) gewonnen. Erste Auswirkungen der Umbaumaßnahmen im Bereich der Niederwasserregulierung sowie der Anbindung des Johler Seitenarmes zeigten sich ebenfalls durch das Monitoring dargestellt werden.

Die Wirksamkeit der GSV war in Bezug auf die Eintiefungstendenz der Donau weniger ausgeprägt als im Zuge der Planung und der vorangegangenen Modellversuche erwartet, die größeren Korngrößen konnten allerdings einen nennenswerten Beitrag leisten. Die Auswirkung der Buhnenumbauten war hingegen stärker als angenommen und führte in Teilbereichen sogar zu einer Trendumkehr im Sinne einer Auflandungstendenz, die nun eine Optimierung der Maßnahme notwendig macht. Der Uferrückbau führte zu sanfteren Ufergradienten mit offenen Schotterflächen und leistete durch den Aufweitungseffekt auch einen Beitrag zur Reduktion der Eintiefungstendenz. Eine Dynamisierung

und Rheophilisierung in ufernahen Bereichen sowie im Johler Nebenarm wurde jedenfalls beobachtet und stellt damit eine Entwicklung in Richtung Leitbild dar, die eine positive Auswirkung auf die Ökologie im Nationalpark zeigen sollte.

Functionality of the tested river engineering measures within the pilot project Bad Deutsch-Altenburg at the Austrian Danube River

Abstract A comprehensive monitoring program was compiled in order to observe all measures at the Danube River within the pilot project Bad Deutsch-Altenburg also during the implementation phase. Especially bathymetry analyses, Freeze Core samples and pebble tracers provided insights into the functionality of the measure “granulometric bed improvement (GBI)”. Furthermore the monitoring showed first reactions regarding the reconstruction of the low flow river regulation and the reconnection of the Johler sidearm.

The effectiveness of the GBI regarding its aim to stop river bed degradation was not as high as predicted during the planning phase and physical model studies, however the coarser grain sized had an important impact on bed stability. The effect of the new groyne shapes was higher than expected before construction and led—in some parts—to a reversal in trend, resulting in an aggradation process necessitating an optimisation of the measure. River bank restoration led to banks of gentle slopes with open gravel bars and due to side erosion and river widening, there was a visible effect on bed stability. However more dynamic conditions and lower water ages can be encountered in bank near habitats and in the side arm leading to a shift towards the natural conditions corresponding to the “Leitbild” theory with anticipated

positive effects on the ecology within the national park.

1. Einleitung

An der Donau im Bereich Bad Deutsch-Altenburg wurden zwischen Februar 2012 und Juli 2014 innovative flussbauliche Maßnahmen zu Versuchszwecken umgesetzt, die gleichzeitig die Sohleintiefung stoppen und eine Verbesserung der Situation für Schifffahrt und Ökologie herbeiführen sollen. Das Pilotprojekt wurde als Naturversuch realisiert, um die Maßnahmen auf einer drei Kilometer langen Teststrecke bezüglich ihrer Umsetzbarkeit und ihrer Wirksamkeit zu testen und gegebenenfalls zu adaptieren. Speziell große Flüsse sind aufgrund der unterschiedlichen gesellschaftlichen Nutzungsansprüche mit einander teilweise widersprechenden Zielsetzungen einem großen Druck unterworfen (Habersack & Walling 2013), der sich in einer hohen Erwartungshaltung bei modernen Wasserbauprojekten widerspiegelt (WRR – Europäische Kommission 2000). Innovative Lösungsansätze, die zusätzlich auch noch adaptiv umgesetzt werden, sollen den Erfolg in den unterschiedlichen Zielebenen gleichzeitig optimieren (Habersack et al., 2012). Deshalb müssen solche Baumaßnahmen von einem umfassenden Monitoringprogramm (Habersack et al. 2008) begleitet werden, welches sowohl abiotische als auch biotische Parameter umfasst und miteinander verknüpft. Dabei ist es notwendig, neue Methoden zu entwickeln und anzuwenden, um Prozessverständnis und Management in Kiesbettflüssen zu verbessern (Ashmore & Rennie 2013). Schon während der Baumsetzung wurde in der Pilotstrecke eine Vielzahl an Analysen durchgeführt, um die Bauphase zu überwachen, zu dokumentieren und Daten zu liefern, die halfen, speziell die innovative Maßnahme „granulometrische Sohlverbesserung“

DI Dr. M. Liedermann (✉) · DI P. Gmeiner ·
DI M. Glas · DI Dr. M. Tritthart ·
DI Dr. H. Habersack
Christian Doppler Labor für Innovative
Methoden in Fließgewässermonitoring,
Modellierung und Flussbau, Institut
für Wasserwirtschaft, Hydrologie und
konstruktiven Wasserbau, Department für
Wasser-Atmosphäre-Umwelt,
Universität für Bodenkultur Wien,
Muthgasse 107,
1190 Wien, Österreich
E-Mail: marcel.liedermann@boku.ac.at

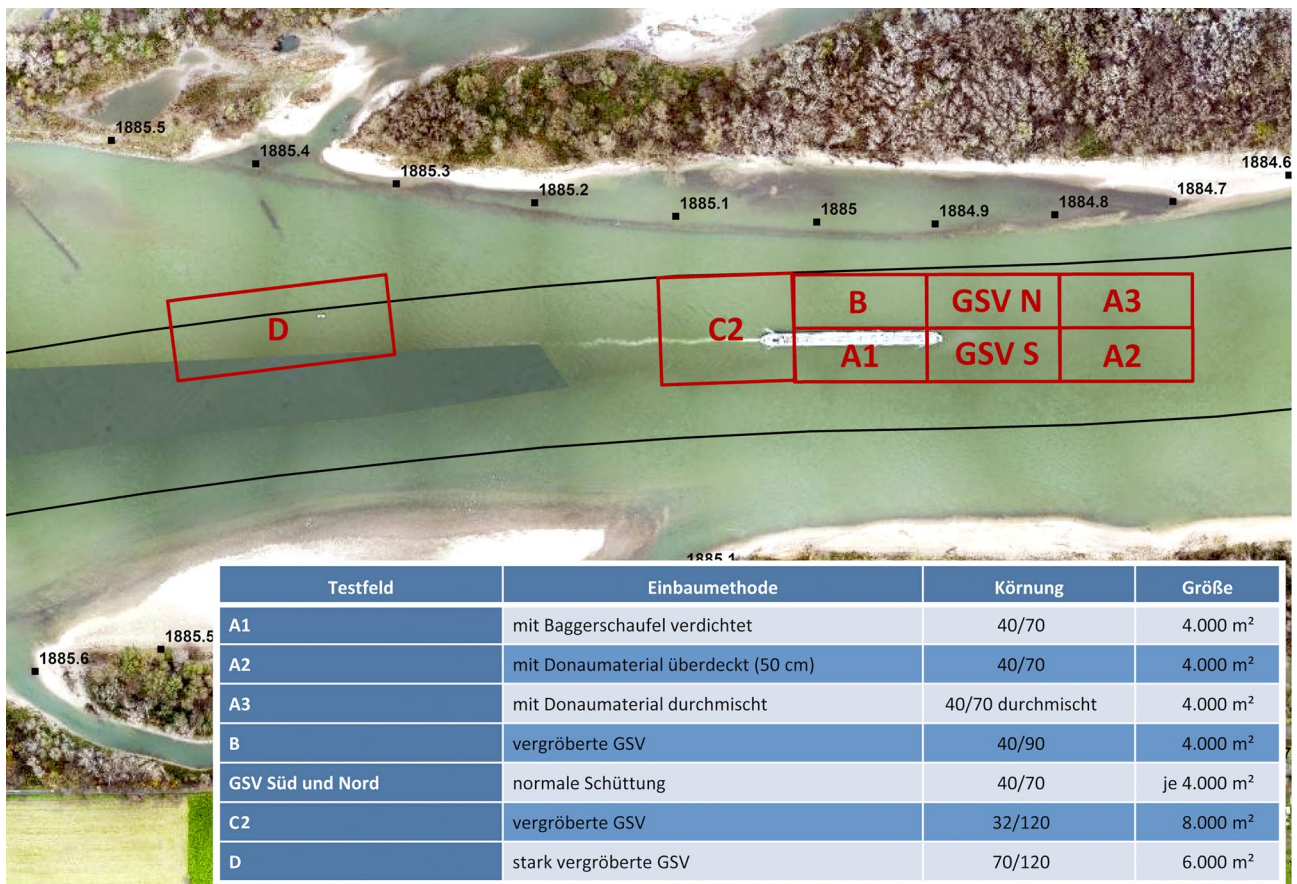


Abb. 1 Lageplan der Testfelder in der Pilotstrecke Bad Deutsch-Altenburg mit einer Beschreibung der unterschiedlichen Einbauvarianten, der verwendeten Körnungen [mm] und der Feldausdehnung

im Laufe des Baufortschrittes adaptieren und schließlich bewerten zu können (Liedermann et al. 2014a).

Der Beitrag gibt eine Übersicht über die bisherigen Ergebnisse des baubegleitenden und des Post-impact Monitorings und damit eine erste Einschätzung der Funktionalität der getesteten Maßnahmen.

2. Methoden

2.1. Sohlgrundaufnahmen

Speziell bezüglich der Fragestellungen um die Problematik der Sohleintiefung ist die genaue Kenntnis der Morphologie eine grundlegende Voraussetzung. Deshalb wurden im Bereich der Pilotstrecke Bad Deutsch-Altenburg sehr detaillierte und auch zeitlich engmaschige Analysen durchgeführt. Von viadonau wurden während der Baumaßnahmen zahlreiche Aufnahmen mit Multi-Beam (Fächerecholotung) und Single-Beam (Linien- oder Einstrahlecholotung) im Flussabschnitt gemacht, die ein

detailliertes räumliches Bild der Sohlgeometrie ergaben und auch die zeitliche Veränderung derselben gut darstellten. Bei der Single-Beam-Methodik werden Querprofile im Abstand von 25–50 m aufgenommen, beim Multi-Beam-Echolot wird eine Reihe von Echolotschwingern nebeneinander gesetzt, um ein flächendeckendes Bild der Sohlgeometrie zu erhalten. Dies ist speziell deshalb von großer Wichtigkeit, da an der Donau Kiesdünen auftreten (Liedermann et al. 2014b), die den Geschiebetransport und die morphologische Entwicklung maßgeblich beeinflussen können (Kleinhans 2004).

2.2. Charakterisierung des Sohlmaterials

Neben zahlreichen Greiferproben (volumetrische Sedimentproben), die nach Trocknung und Siebung zur Charakterisierung des vorherrschenden Sediments dienten, wurden auch Freeze-Core-Proben entnommen. Bei dieser Methodik wird eine Metalllanze in die

Flusssohle gerammt und mittels flüssigen Stickstoffs auf -196°C heruntergekühlt, sodass das Sediment am Rohr festfriert und ungestört entnommen werden kann. Diese Art von Proben wurde primär zur Analyse der granulometrischen Sohlverbesserung verwendet, da damit gezielt untersucht werden kann, in welcher Schicht vergrößertes Material vorhanden ist.

2.3. Akustische Steintracer im Radiofrequenzbereich

Neben der Messung des Geschiebetransports mittels Korb-sammler wurden radioakustische Steintracer für die Charakterisierung der Transporteigenschaften des Sohlmaterials herangezogen. Die speziell für die Donau entwickelte Methodik (Liedermann et al. 2013, Liedermann et al., 2012) eignet sich besonders, um den Verbleib des eingebrachten Materials zeitlich hochaufgelöst zu beobachten. Bei dieser Methodik werden künstliche Steine mit der Dichte des natürlichen Sedimentes

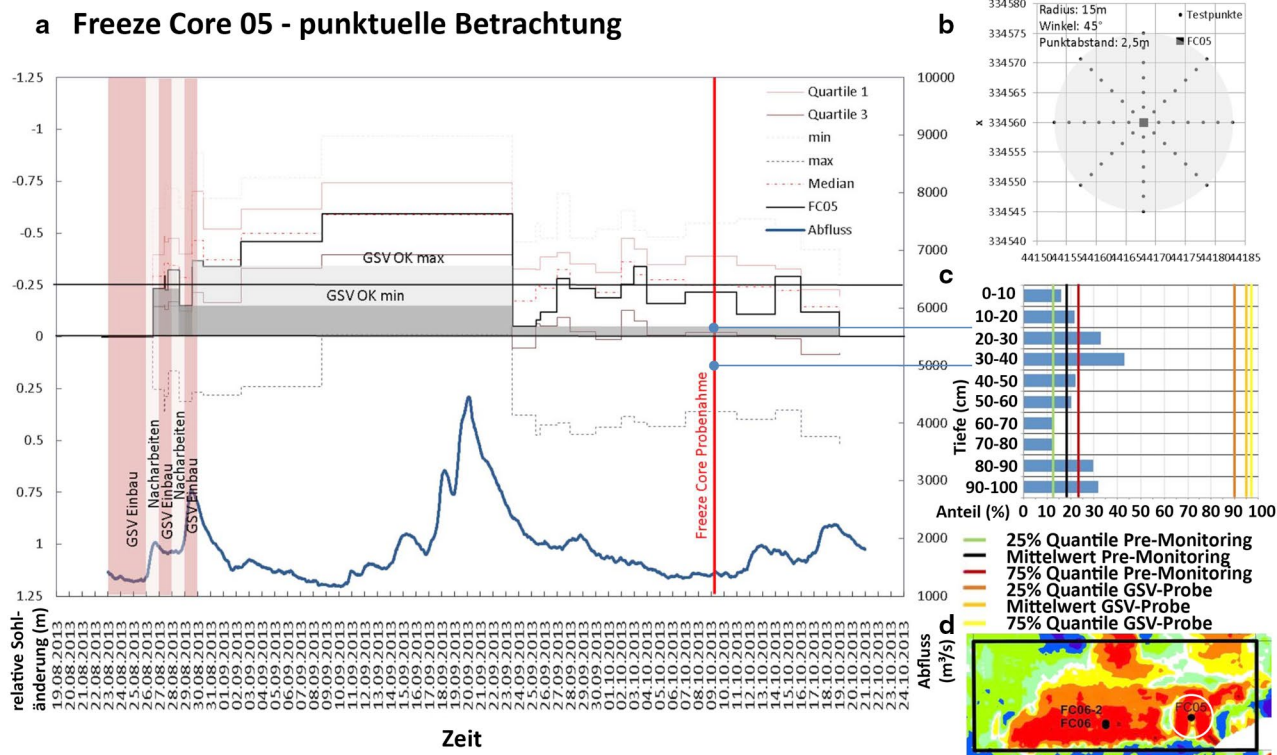


Abb. 2 Verschneidung unterschiedlicher Methoden zur Analyse der GSV: **a** Donau-Durchfluss (blaue Linie), relative Sohländerung an der Freeze-Core-Position (schwarze Linie) und in der Umgebung (graue und gepunktete Linien), Zeitpunkt der Freeze-Core-Entnahme (rote Linie) und potenzielle GSV-Dicke (grauer Bereich); **b** gewählte Punkte für die Berechnung der Sohlhöhenänderung in der Umgebung der Probe; **c** Anteil GSV über die Tiefe der Freeze-Core-Probe #05 – auf die Sohlhöhe bei Probenahme gesetzt; **d** Differenzkarte zum Zustand vor Einbau der GSV (potenzielle GSV in Rot) und Position der Freeze-Core-Probe #05

hergestellt, die mit radioakustischen Sendern mit hoher Signalstärke ausgestattet sind. Die Antenne der Sender wird dabei in die äußerste Schicht des Tracers eingearbeitet, um eine bestmögliche Sendeleistung zu erhalten. Im Rahmen des baubegleitenden Monitorings wurden Tracersteine in den Größen 40 mm (Bezeichnung/Größe: mittel), 70 mm (Bezeichnung/Größe: groß) und 120 mm (Bezeichnung/Größe: sehr groß) hergestellt und zusammen mit dem Zugabematerial verklappt.

3. Bisherige Ergebnisse bezüglich der flussbaulichen Maßnahmen

3.1. Granulometrische Sohlverbesserung (GSV)

3.1.1. Sohlstabilisierung – Stabilität der GSV (40/70)

Die Sohlgrundaufnahmen nach den ersten Schüttungen der GSV zeigten rasch, dass das Material speziell in stark strömungsexponierten Bereichen beweg-

licher war, als dies die Berechnungen durch die Planer (Donauconsult 2006) und physikalische Modellversuche an der TU Wien (Hengl et al. 2012) im Vorfeld vermuten ließen (Im Modellversuch waren im Schnittmodell bei einem simulierten HQ_{100} noch stabile Verhältnisse zu beobachten). In weniger exponierten Bereichen blieb die GSV Schicht weitgehend erhalten. Danach sorgte das Hochwasser im Juni 2013 (ca. HQ_{200}) dafür, dass erwartungsgemäß ein großer Teil des noch verbliebenen größeren Materials ausgetragen wurde. Aufgrund der angestrebten Beweglichkeit („Restdynamik“) der granulometrischen Sohlverbesserung (GSV) war bei extremen Hochwässern keine stabile Sohle zu erwarten.

Auf Basis der ersten Beobachtungen wurde beschlossen, unterschiedliche Zugabemethoden und Kornmischungen mittels verschiedener Testfelder in der Pilotstrecke zu überprüfen. Dazu wurde das Monitoringprogramm verdichtet, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Varianten zu untersuchen. Bei den Zu-

gabeverfahrenen wurde (a) Festdrücken mit der Baggerschaufel, (b) Überschütten mit Normalgeschiebe und (c) Vorwegnahme des Einmischungsprozesses durch Vormischen mit Normalgeschiebe untersucht. Neben der Kornmischung der ursprünglichen GSV (40/70 mm) wurden auch die Varianten 40/90 mm und 32/120 mm getestet. In einem zusätzlichen Feld wurde – als innerhalb des natürlichen Kornspektrums grösste Variante – die Kornmischung 70/120 mm eingebaut. Eine Übersicht der unterschiedlichen Testfelder bietet Abb. 1.

Für die unterschiedlichen Zugabemethoden konnte grundsätzlich keine nennenswerte Änderung in der Stabilität festgestellt werden. Einzig bei der Variante, bei der die GSV mit einer Schicht Normalgeschiebe überdeckt wurde, verzögerte sich der Abtrag deutlich, nach Freilegung des Materials konnten allerdings keine Veränderungen an den Eigenschaften der GSV festgestellt werden.

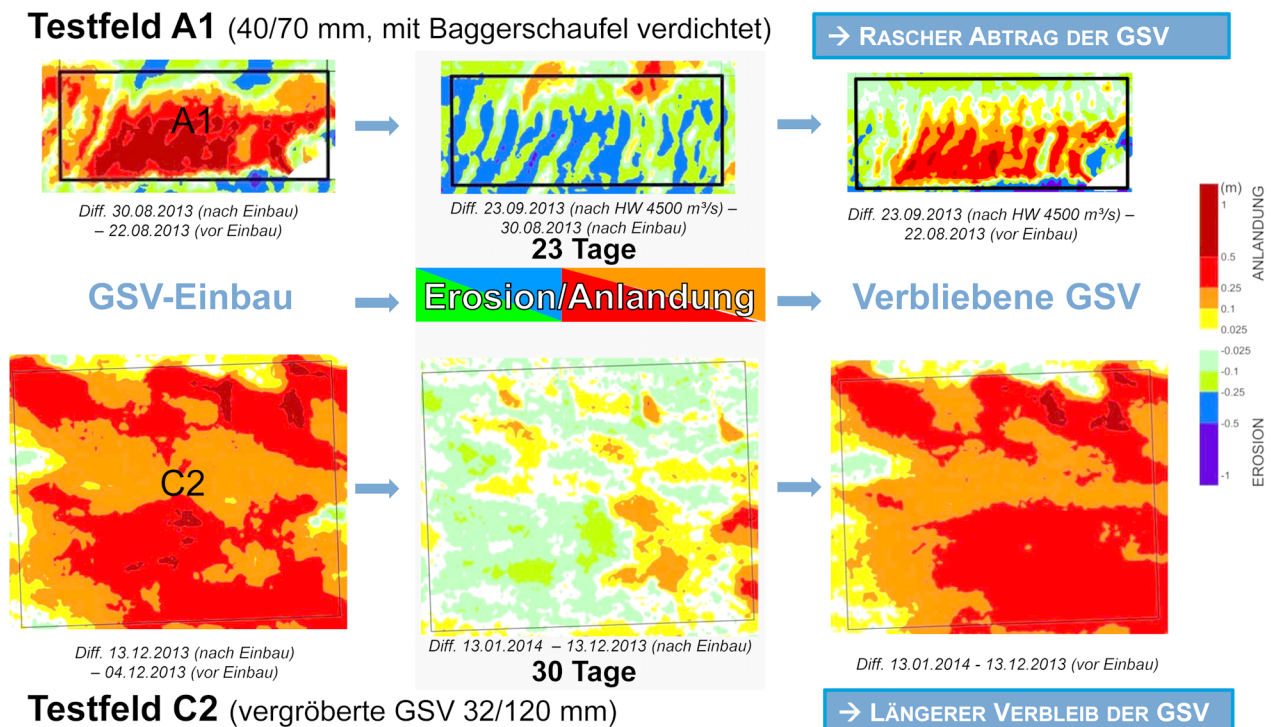


Abb. 3 Vergleich der Morphologie von Testfeld A1 (GSV 40/70 mm, mit Baggerschaufel verdichtet) und Testfeld C2 (vergrößerte GSV – 32/120 mm)

3.1.2. Sohlstabilisierung – Wirkung der Vergrößerung der GSV (40/90 mm, 32/120 mm)

Die unterschiedlichen Kornmischungen hatten allerdings eine in den Messdaten merkbare Auswirkung auf die Sohlstabilität. Aufgrund der nie völlig gleichen Randbedingungen (unterschiedliche Hydrologie, Beeinflussung durch die Stromsohle flussauf) ist an der Donau ein direkter Vergleich schwierig. Daher mussten unterschiedliche Monitoringmethoden (Sohlgrundaufnahmen, Tracersteine, Freeze Cores etc.) kombiniert werden, um auf vergleichbare Aussagen zu kommen. In Abb. 2 ist die Verschneidung unterschiedlicher Methoden dargestellt, um eine gesamt-haft Aussage zu erhalten.

Die Sohlhöhe alleine lässt keinen direkten Schluss auf den Verbleib der GSV zu, da zwischen zwei Aufnahmen Material transportiert und von flussauf eingetragenes Material wieder sedimentiert werden kann. Nur in Verbindung mit den Freeze-Core-Proben konnte festgestellt werden, ob und in welcher Tiefe GSV-Material noch vorhanden ist.

Die Testfelder A1 (GSV 40/70 mm, mit Baggerschaufel verdichtet) und C2 (ver-

größerte GSV – 32/120 mm) eigneten sich am besten für einen Vergleich, da sie räumlich direkt aneinander, anschließend aber zeitlich versetzt, jeweils als stromaufwärtigstes Feld, eingebaut wurden und somit keiner direkten Beeinflussung von einem GSV-Feld flussauf unterlagen. In Abb. 3 ist der Morphologievergleich dieser beiden Testfelder dargestellt. In Abb. 3 (links) ist in Rot die GSV-Schüttung im jeweiligen Feld zu sehen. Die Darstellungen in der Mitte (Abb. 3) zeigen die Entwicklung (Erosion/Anlandung) von Fertigstellung der Schüttung bis zum Zeitpunkt 23 Tage (A1) bzw. 30 Tage (C2) nach Fertigstellung. Hier ist in Feld A1 eine deutliche Erosion zu sehen, die in den meisten Bereichen über die geplante Einbaustärke von 25 cm hinausgeht. Die Darstellungen auf der rechten Seite von Abb. 3 zeigen die Verhältnisse im Vergleich zum Zustand vor der Schüttung. Es wird deutlich, dass in Feld C2 das vergrößerte Material noch größtenteils vorhanden ist, während in Feld A1 großflächig mehr als 25 cm erodiert wurde und nur in einigen Bereichen noch Material, das über die 25 cm hinaus in diesem Bereich eingebracht wurde (Überbelegung), vorhanden ist.

Unter Einbeziehung aller Unsicherheiten kann bei Betrachtung aller Monitoringmethoden die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Felder mit der Kornmischung 32/120 eine höhere Stabilität in Bereichen mit höherer Strömungsbelastung auf die Sohle aufwiesen als Kornmischungen mit 40/70 und 40/90 mm.

3.1.3. Ausmaß der Sohlstabilisierung – Ergebnisse aus der Tracerstudie

Die Tracer haben sich grundsätzlich im Rahmen des baubegleitenden Monitorings als sehr wertvolles Werkzeug erwiesen, um die Stabilität der GSV nachzuweisen. Kurz nach dem Einbau gaben die Tracersteine direkte Auskunft über den Zustand und den Verbleib der GSV an Ort und Stelle, nach der ersten Bewegung konnten wichtige Kennwerte der Transporteigenschaften bestimmt und mit dem Premonitoring verglichen werden. In Abb. 4 sind die wichtigsten Parameter der Tracersteine für den Vergleich der Untersuchungen vor und während der Baumaßnahmen dargestellt. Der Median der Tracergeschwindigkeit zeigt zum Beispiel bei der mittleren Steingröße (40 mm) eine Reduktion von 7,7 m/d im Premonitoring

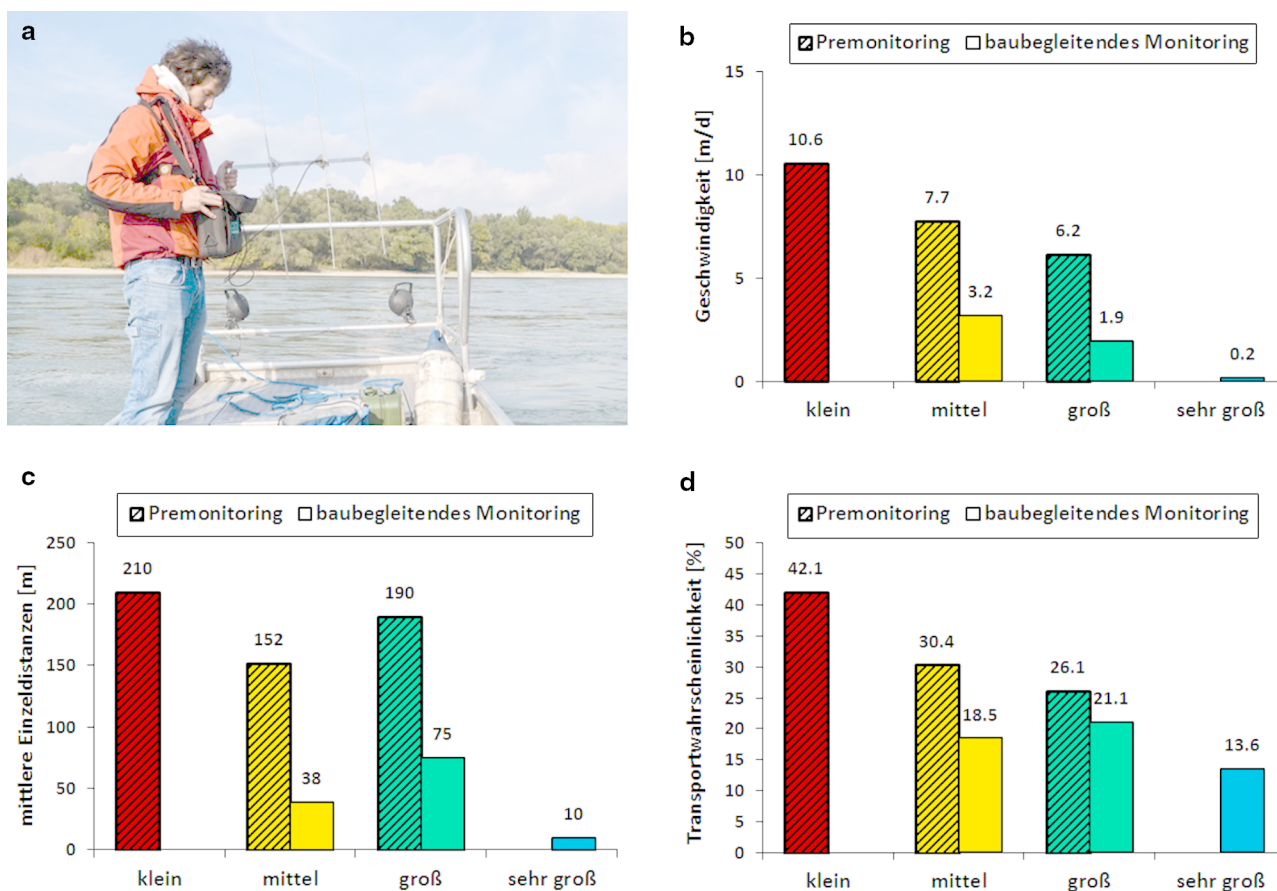


Abb. 4 Vergleich wichtiger Tracerparameter vor und nach den Baumaßnahmen; **a** Aufsuchen der Tracersteine; **b** Median der Tracergeschwindigkeit (Zeitreihe 15.04.2013 bis 29.06.2015; **c** Median der Einzeldistanzen (Zeitreihe 15.04.2013 bis 09.01.2015); **d** Transportwahrscheinlichkeit (Zeitreihe 15.04.2013 bis 09.01.2015)

auf 3,2 m/d während/nach Umsetzung der Bauumsetzung, bei der großen Steingröße (70 mm) von 6,2 auf 1,9 m/d. Dies zeigt für die Daten bis 29.6.2015 eine Reduktion der Transportgeschwindigkeit auf ca. die Hälfte bei den mittleren Steinen (Durchmesser 40 mm) und auf etwa ein Drittel bei den großen Steinen (Durchmesser 70 mm) der Werte vor Bau. Auch bei Häufigkeit der Steinbewegungen kommt es zu einer Reduktion, besonders deutlich ist allerdings die Abnahme der Transportdistanzen. Ein Tracerstein nach den Baumaßnahmen bewegte sich daher etwas seltener und deutlich weniger weit als ein Stein während des Premonitorings.

Zu beachten ist dabei, dass für das Ausmaß der Änderung der Tracerparameter die Maßnahmen (GSV, Bühnenumbau) nicht singular betrachtet werden können, sondern als Gesamtheit ihre Wirkung zeigen.

3.2. Optimierung Niederwasserregulierung

3.2.1. Einfluss des Bühnenumbaus auf den Sedimenttransport, die Schiffbarkeit und die Morphologie

Grundsätzlich zeigte sich, dass zwar die GSV in Kornmischung 40/70 eine geringere stabilisierende Wirkung aufwies als in ihrer Konzeption prognostiziert wurde, der Bühnenumbau allerdings eine größere Auswirkung auf die Stabilisierung zeigte als in der Planung angenommen. Dieser sohlstabilisierende Effekt der Niederwasserregulierung war schon in Witzelsdorf deutlich zu sehen: Hier wurde durch Bühnenumbauten eine Querschnittsaufweitung ausgelöst, die zu einer Verringerung der Sohl Schubspannung im Hauptstrom führte. Insgesamt kam es durch die Kombination von Bühnenumbauten und Uferrückbau im Bereich Witzelsdorf zu einer höheren

Anlandungstendenz als gewünscht (höherer Erhaltungsaufwand, um die Schiffbarkeit zu gewährleisten). Auch in der Pilotstrecke Bad Deutsch-Altenburg ist nun speziell in einem etwa 400 bis 500 m langen Teilabschnitt im Bereich des Hafens der viadonau eine deutliche Anlandungstendenz zu erkennen, die derzeit zu einem beträchtlichen Erhaltungsaufwand führt. Im Rest der 3000 m langen Projektstrecke waren bislang keine Erhaltungsbaggerungen erforderlich. In Abb. 5 ist die Langzeitentwicklung der Volumenbilanz in der Projektstrecke dargestellt.

Zwischen 2006 und 2012 liefert die Morphologieanalyse der Projektstrecke nach einem Anstieg Ende 2006 annähernd gleichbleibende Volumensbilanzen. Im Zuge der Bauarbeiten kam es – auch aufgrund der Zugabe der GSV – zu einer starken Sedimentation in der Projektstrecke, die allerdings über die Bauzeit hinaus auf dem hohen Niveau bleibt, obwohl mehrere Baggerungen statt-

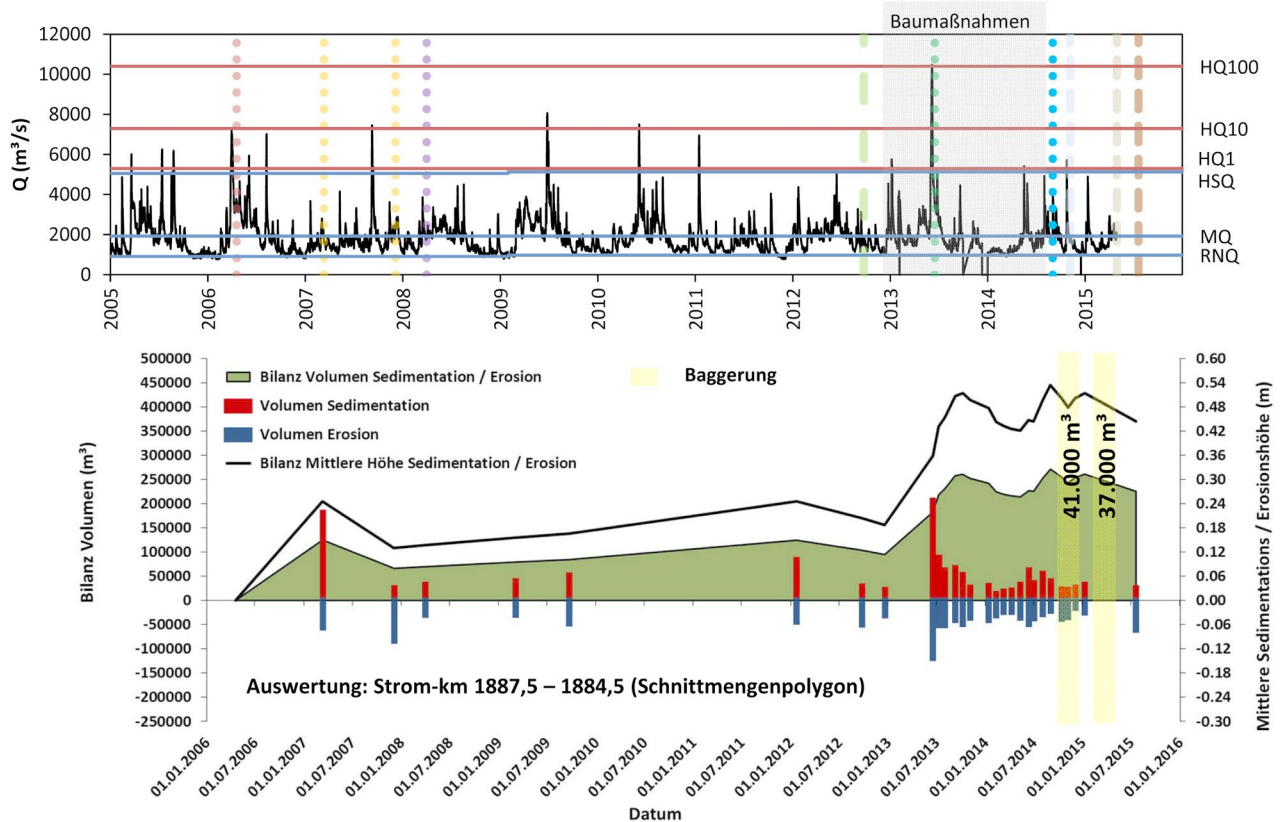


Abb. 5 Darstellung der Massenbilanzen in der Projektstrecke von 2006 bis Mitte 2015; *Oben*: Durchflussganglinie Hainburg sowie Zeitpunkte der digitalen Geländemodelle (DGM); *Unten*: Volumenbilanz mittlere Sedimentation bzw. Erosion in der Projektstrecke (Strom-km 1887,5 bis 1884,5) inklusive Baggerungen

gefunden haben, bei denen im dargestellten Zeitraum 78.000 m³ Material aus der Projektstrecke entnommen und flussauf verklappt wurden.

Um diese Prozesse besser verstehen zu können, wurde eine Simulation der Hydrodynamik, des Sedimenttransportes und der Morphodynamik durchgeführt (Abb. 6). Bezogen auf die Sohl Schubspannung zeigt der geänderte Verbauungsgrad (Buhnen reduziert, abgesenkt, verkürzt etc.) seine flächenhaft größte Ausprägung stromauf sowie am linken Fahrrinnenrand stromab der Hainburger Straßenbrücken (Abb. 6). Die Reduktion der Transportkapazität führte zu Anlandungen mit höherem Erhaltungsaufwand zwischen Strom-km 1886,8 und 1886,4, da die Anlandungen eine Reduktion der Wassertiefen unter 2,5 m zur Folge haben.

Voraussetzung für die erfolgreiche numerische Modellierung der räumlichen und zeitlichen Schwankungen der Sohlhöhe, des Geschiebetransportes bzw. der Korngrößen, sind eine fraktionierte Berechnung inklusive Hiding/Expo-

sure-Korrektur, die fortlaufende Neusortierung des Sedimentes in einer Austauschschicht (active layer) sowie eine über die Fläche und Tiefe inhomogene Sedimentbelegung (Tritthart et al. 2011). Darüber hinaus ist eine entsprechende Datengrundlage notwendig, um die empirischen Formeln im Modell kalibrieren zu können.

Aus wasserbaulicher Sicht liefern diese Entwicklungen wertvolle Erkenntnisse, da nun klar ist, dass die Adaptierung der Buhnen – gezielt und dosiert eingesetzt – neben der GSV einen nennenswerten Beitrag zur Sohlstabilisierung leisten kann. Eine 3D hydrodynamisch-numerische Modellierung untersucht derzeit, wie mit geringfügigen Änderungen der Buhngeometrien (z. B. Buhnenerhöhung, -verlängerung) eine Optimierung des Zustandes erreicht werden kann, der dann sohlstabilisierend wirkt, aber zu keinen für die Schifffahrt problematischen Anlandungen innerhalb der Fahrrinne führt.

Diese Ergebnisse sollen in eine bauliche Adaptierung einiger Buhnen ein-

fließen, um die Anlandungsproblematik im betroffenen Teilabschnitt nachhaltig zu lösen. Im Bereich Witzelsdorf wurden die Arbeiten zur Adaptierung der Buhnen 2015 abgeschlossen.

3.2.2. Einfluss von Niederwasserregulierung und Uferrückbau auf Ökologie und Morphodynamik

Zusätzlich zur positiven Wirkung des Uferrückbaus (Entfernung der Ufersicherung) auf die Ökologie zeigte sich, dass der Uferrückbau einen Beitrag zur Sohlstabilisierung leisten kann. Durch die damit ermöglichte Seitenerosion kommt es zu einem Aufweitungseffekt, der sich beim derzeitigen Umfang der Erosion zumindest in geringem Maße positiv auf die Sohlstabilisierung auswirkt. Zu starke Seitenerosion würde sich dann wiederum in stärkeren Sedimentationen äußern, was aber in der Wechselwirkung mit den Buhnen zu sehen ist.

Das primäre Ziel der Maßnahme, die Uferstrukturen für die Ökologie zu ver-

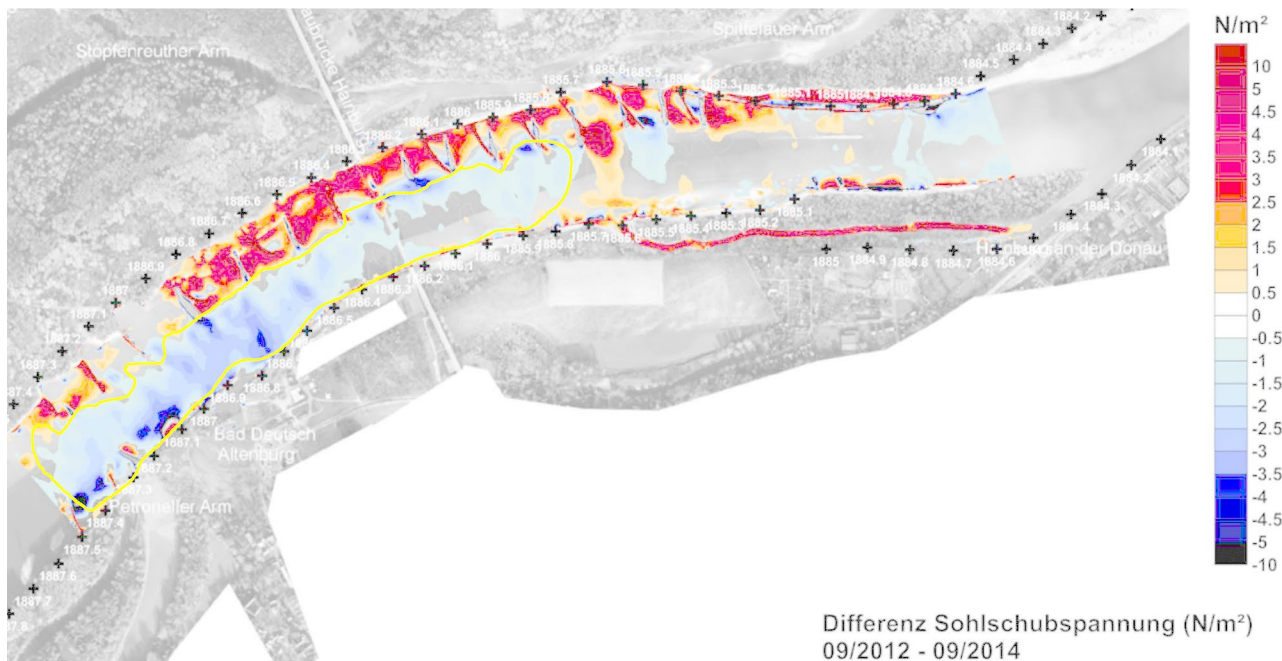


Abb. 6 Differenz der Sohlschubspannungen aus der hydrodynamischen Modellierung; Morphologie September 2012 und September 2014

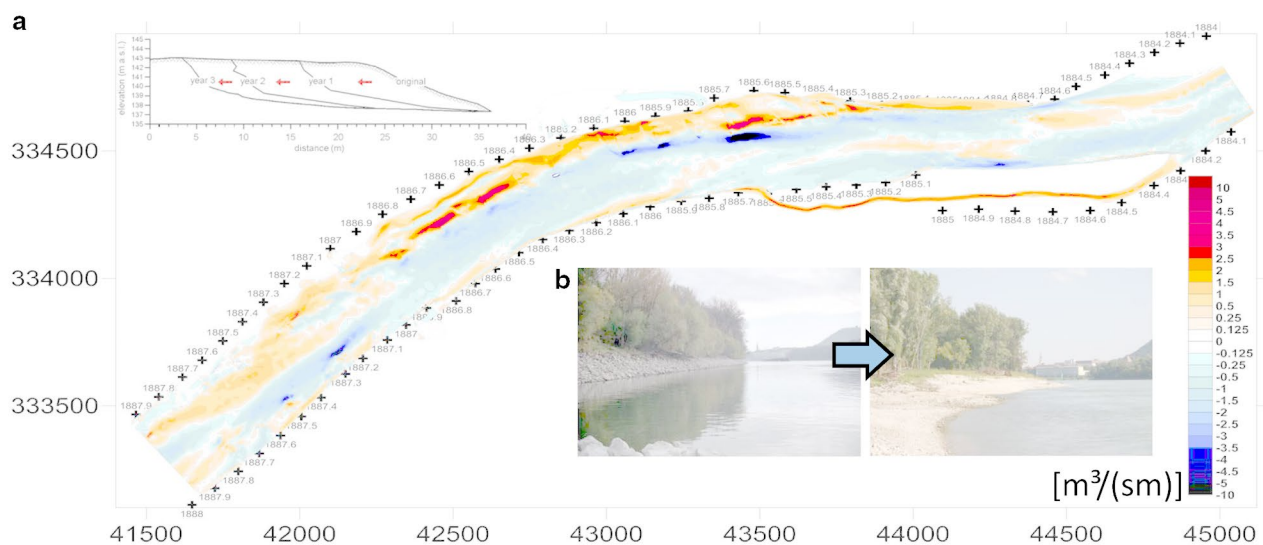


Abb. 7 Darstellung der Differenz der spezifischen Durchflüsse (m³/(sm)) bei MQ für die Morphologien 2008 (vor Bau) und 2014 (nach Bau); **a** Seitenerosion im Bereich Thurnhaußen; **b** Uferrückbaubereich vor und nach Umsetzung

bessern, die Fließgeschwindigkeiten in den ufernahen Bereichen zu erhöhen und das Wasseralter zu vermindern, wurde durch die Maßnahmen erreicht. Es kam zu einer deutlichen Dynamisierung und damit zu einer Entwicklung Richtung Leitbild. In Abb. 7 ist dazu die Differenz des spezifischen Durchflusses zwischen dem Zustand vor und nach den Baumaßnahmen dargestellt.

In Abb. 7 ist an den orange/roten Bereichen deutlich zu sehen, wie stark die Durchströmung bei MQ in den Uferrandzonen (besonders auch Hinterrinnen), den Bühnenfeldern und im Johler Arm zugenommen hat.

3.3. Gewässervernetzung Johler Arm

Eine weitere Maßnahme, die im Rahmen des Pilotprojektes umgesetzt wurde, stellt die Gewässervernetzung Johler Arm dar. Vor den Baumaßnahmen war der Johler Arm bis zu einem Donaudurchfluss von 2350 m³/s nicht durchströmt. Durch die Verschwenkung des Einlaufbereiches und eine durchgehende Initialbaggerung

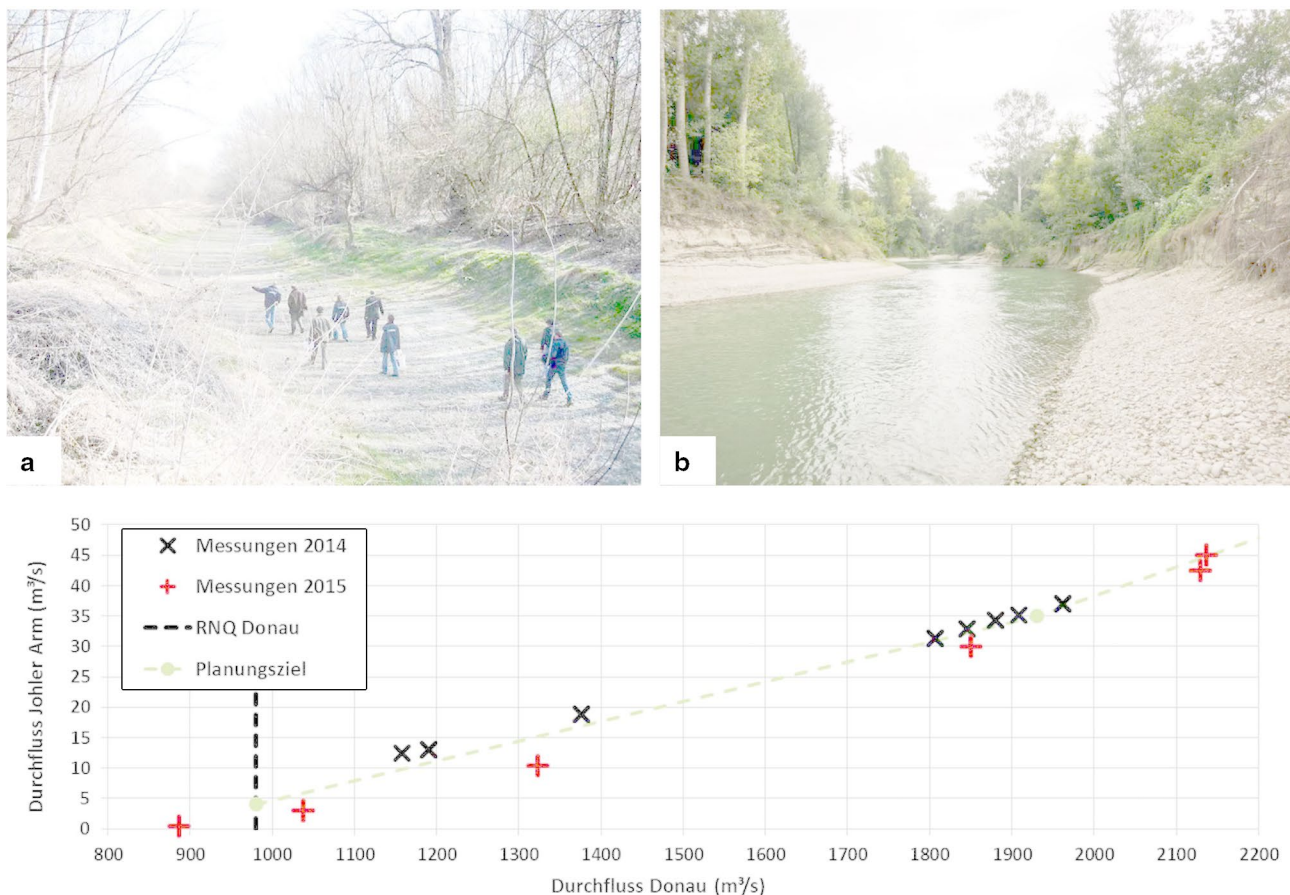


Abb. 8 Oben: Jöhler Arm (a) vor und (b) nach Umbau; Unten: Durchflussmessungen im Jöhler Arm nach Umsetzung der Maßnahme

konnte der Abfluss im Seitenarm deutlich ertüchtigt werden. Unter den Bedingungen, bei denen der Seitenarm vor Bau gerade benetzt war, fließen nun mehr als 50 m³/s durch das Gerinne. In Abb. 8 ist der Durchfluss im Jöhler Arm bei unterschiedlichen Donaudurchflüssen dargestellt. Das Planungsziel (grün strichlierte Linie) wurde mit den gesetzten Maßnahmen erreicht.

Für die Messungen im Jahr 2015 zeigt sich eine leichte Verlandungstendenz, da der Durchfluss im Jöhler Arm relativ zu den Messungen im Jahr 2014 etwas abgenommen hat. Ob diese Tendenz temporär ist und Teil eines natürlichen Schwankungsbereiches aufgrund von morphologischen Umlagerungen, oder ob sich im Seitenarm immer mehr Material ablagert, wird das Postmonitoring der nächsten Jahre zeigen. Dazu gibt es im Projektgebiet auch ein umfassendes Schwebstoffmessprogramm, das für diese Fragestellung unterstützend Daten liefert (Haimann et al., 2012).

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Obwohl das Postmonitoring in der Pilotversuchsstrecke Bad Deutsch-Altenburg erst begonnen hat, können primär durch das umfassende baubegleitende abiotische Monitoring bereits erste Aussagen und Tendenzen zur Wirksamkeit der einzelnen Baumaßnahmen getroffen werden. Insgesamt kann bisher betreffend die flussbaulichen Maßnahmen gefolgert werden, dass (i) die GSV 40/70 mm im strömungsexponierten Bereich nicht ausreichend stabil ist, um die Sohleintiefung zu minimieren, aber die vergrößerte GSV nennenswerte Beiträge leisten kann; (ii) die Bühnenumbauten sich stärker als in der Planung ermittelt auf die Sohlentwicklung auswirken und optimiert werden müssen, um einerseits einen Beitrag zur Sohlstabilisierung zu erreichen und andererseits nicht durch Auflandungen Probleme für die Schifffahrt zu erzeugen; (iii) der Uferrückbau zur

Sohlstabilisierung beiträgt und sich ökologisch positiv auswirkt, aber in Wechselwirkung mit der Bühnenwirkung zu beurteilen ist und (iv) die Gewässervernetzung positive Wirkungen betreffend den Durchfluss, die Fließgeschwindigkeiten und die Morphologie im Jöhler Arm zeigt und in ihrer Wirkung betreffend die Sohlage längerfristig zu beobachten ist.

Außer Zweifel steht jedenfalls ein hoher Erkenntnisgewinn bezüglich flussbaulicher Maßnahmen an der Donau, der in zukünftige Planungen – nicht nur im Bereich östlich von Wien – Eingang finden wird. Die Aufgabe in der freien Fließstrecke wird es sein, Grundlagenerkenntnisse zu gewinnen und optimierte Maßnahmen zu entwickeln, die die Eintiefung minimieren ohne Anlandungstendenzen auszulösen, um ein dynamisches Gleichgewicht zu erzielen. Eine endgültige Bewertung der einzelnen Maßnahmen wird die Arbeit im Rahmen des Postmonitorings bringen.

Danksagung

Die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft sowie die Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung wird dankend anerkannt. Die Autoren danken weiters viadonau, der Europäischen Union und dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, die die Forschungsarbeit an der Donau mit-

finanzieren, sowie der Gruppen FGP und Grundlagen von viadonau für die Zurverfügungstellung von Daten und die logistische Unterstützung bei Freilandmessungen. Die dargestellten Monitoringergebnisse wurden mit der Unterstützung von Mario Klösch, Elisabeth Krinzinger, Marlene Haimann, Martin Hinterleitner, Silke Lackner und Sebastian Pessenlehner erzielt.

Open Access

Dieser Artikel unterliegt den Bedingungen der Creative Commons Attribution License. Dadurch sind die Nutzung, Verteilung und Reproduktion erlaubt, sofern der/die Originalautor/en und die Quelle angegeben sind. ■

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Literatur

Ashmore, P. E., Rennie, C. D. (2013): Gravel-bed rivers: from particles to patterns. *Earth Surf. Process. Landforms*, 38: 217–220. doi:10.1002/esp.3361

Donauconsult (2006): Integrated Danube river engineering project east of Vienna. Unpublished technical report.

Europäische Kommission (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. Nr. L 327 vom 22.12.2000, Brüssel, Belgien, 73 S.

Habersack, H., Hauer, C., Liedermann, M., Tritthart, M. (2008): Modelling and monitoring aid management of the Austrian Danube Water 21, Dec. 2008, 29–31; ISSN 1561–9508

Habersack, H., Liedermann, M., Tritthart, M., Hauer, C., Klösch, M., Klasz, G., Hengl, M. (2012): Maßnahmen für einen modernen Flussbau betreffend Sohlstabilisierung und Flussrückbau – Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferrückbau und Gewässervernetzung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 571–581; ISSN 0945–358X

Habersack, H.; Walling, D. (2013): The Hydrology of Large Rivers Preface, *HYDROL PROCESS*. 2013; 27(15): 2103–2104.

Haimann, H., Liedermann, M., Naderer, A., Lalk, P., Habersack, H. (2012): Innovatives Schwebstoffmonitoringkonzept – Innovative Ansätze auf Basis direkter und indirekter Methoden. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 535–543; ISSN 0945–358X

Hengl, M., Krouzecky, N., Huber, B., Habersack, H. (2012): Überprüfung der sohlstabilisierenden Wirkung der Granulometrischen Sohlverbesserung mittels physikalischer Modellversuche. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 564–570; ISSN 0945–358X

Kleinhans, M.G. (2004): Sorting in grain flows at the lee side of dunes. *Earth-Science Reviews* 65: 75–102.

Liedermann, M., Gmeiner, P., Niederreiter, R., Tritthart, M., Habersack, H. (2012): Innovative Methoden zum Geschiebemonitoring am Beispiel der Donau. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 527–534; ISSN 0945–358X

Liedermann, M., Tritthart, M., Habersack, H. (2013): Particle path characteristics at the large gravel-bed river Danube: results from a tracer study and numerical modelling *EARTH SURF PROC LAND*. 2013; 38(5): 512–522.

Liedermann, M., Gmeiner, P., Tritthart, M., Habersack, H. (2014a): Monitoring during the construction phase of a restoration project at the Austrian Danube enabling adaptive planning In: European Centre for River Restoration, 6th European River Restoration Conference, Abstract Proceedings

Liedermann, M., Gmeiner, P., Tritthart, M., Glas, M., Habersack, H. (2014b): Occurrence and characterization of bed forms at the Danube to the east of Vienna In: CRC Press/Balkema, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, RIVER FLOW 2014, 1075–1080

Tritthart, M., Liedermann, M., Schober, B., Habersack, H. (2011): Non-uniformity and layering in sediment transport modelling 2: river application; *J HYDRAUL RES*. 2011; 49(3): 335–344.